

# 다중빔을 이용한 광 저장 장치에 관한 연구

이정현\*, 한창수\*\*, 김수현\*\*, 곽윤근\*\*

## Study on a Optical Storage Device Based on Multi-beam

J. H. Lee\*, C. S. Han\*\*, S. H. Kim\*\*, Y. K. Kwak\*\*

### ABSTRACT

A new multi-beam optical system is presented on the grounds of tri-positioning systems in this paper. The system has been developed to improve the data transfer rate for the optical disk system. The actuating system is composed of a tracking and focusing actuating system basically and a newly developed beam rotating actuator. The beam rotating actuator is employed in a multi-beam optical system to trace more than one track simultaneously. The multi-beam optics is established through the optical simulation and several experimental trials. The differential phase tracking method is used in the tracking error signal detection based on the only one beam spot. We also analyze the characteristics of multi-beam optical system. The experimental result shows that the multi-beam positioning system has performance adequate to the multi-beam optical disk system.

**Key Words** : Media Storage System(매체 저장 시스템), Optical System(광학 시스템), Beam Rotating Actuator(빔 회전 구동기), Multi-beam(다중빔)

### 1. 서론

매스 미디어가 발달함에 따라 기록 저장 장치로써의 광 디스크 시스템의 이용가치는 점점 증가하고 있다. 특히, 최근의 연구에서는 시스템 자체의 성능을 향상시키기 위한 연구가 필연적으로 이루어지고 있다<sup>(1)</sup>. 더욱이, 이 시스템을 향상시키는 방법 중 하나로 고속 데이터 전송에 대한 연구가 많이 진행되었다<sup>(2)(3)</sup>. 고속 전송을 이루기 위한 중요한 기술들은 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 광 디스크의 시스템의 재생 능력은 디스크의 회전 속도와 매우 밀접한 관계를 가진다. 따라서 디스크의 회전 속도를 향상시키면 전체적인 데이터 전송 속도가 향상시키게 된다. 그러나,

회전 모터의 성능의 향상에는 한계가 있다. 또한 초점 구동기와 트래킹 구동기의 성능도 디스크가 회전함에 따라서 발생하는 외란(편심, 면진동)을 충분히 추종할 수 있을 정도의 성능을 가져야 하는 어려움이 있다.

둘째, 픽업 구조물 전체를 이송하는 조동 구동기(Coarse actuator)의 성능을 향상시키는 것이다. 그러나, 조동 구동기의 크기, 구동력, 제어 알고리즘 등에 제약이 있으므로 기계적인 성능 향상에 한계가 있다.

셋째, 고성능의 픽업 구동기를 개발하는 것이다. 이 또한 구동기 자체의 구동력 및 크기의 제약에 따른 고차 공진 등의 문제로 인하여 기계적인 성능을 향상시키는 데는 한계를 가지고 있다.

\* 삼성전기주 기술총괄  
\*\* 한국과학기술원 기계공학과

위에서 살펴본 바와 같이 광 디스크 시스템의 전송률 향상에는 적잖은 한계가 있음을 알 수 있다. 따라서 새로운 접근 방법으로 광디스크 시스템의 재생 빔의 숫자를 증가시키므로써 데이터 전송률 향상에 대한 연구가 최근 이루어지고 있다. 이 시스템은 다중 빔 광학 시스템으로 본 연구에서는 기존의 다중 빔 시스템과 다르게 비교적 간단한 형태의 광학 시스템을 제안하고, 설계 제작하여 성능을 평가하였다. 본 연구의 다중 빔 광학 시스템은 하나의 빔으로 초점 및 트래킹 제어용 검출 신호를 얻는다. 또한 실험적으로 제안된 다중빔 시스템이 충분한 성능을 가짐을 보였다.

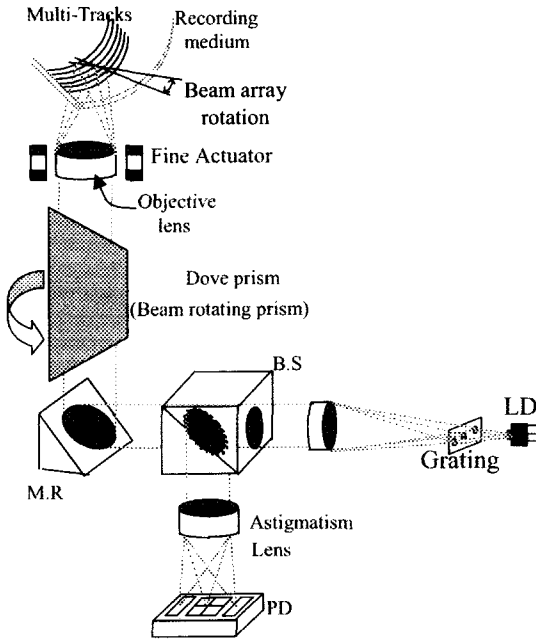


Fig. 1 Multi-beam system configuration.

## 2. 다중빔 광학계

### 2.1 구성

다중빔 광학 시스템의 전체적인 형태를 Fig. 1에 나타내었다. 우선 데이터의 재생용 광원으로 사용되는 레이저 다이오드의 파장은 780 nm이다. 여기서 레이저 광원에서 출사된 빔은 투과형 회절 격자(grating)를 통하여 세 개의 빔으로 나뉜다. 격자의 재질은 SiO<sub>2</sub>로 크기는 3.5\*5\*1이

다. 굴절율은 1.5이며, 회절 격자의 간격은 35um이다. 또한 회절 격자의 막두께는 0.3um이다. 광원 출사부의 구조는 일반적인 광학 시스템과 비슷한 형태를 가진다<sup>(4)</sup>. 단지 일반적인 재생용 레이저 광원의 출력보다 높은 레이저를 사용한 것 외에는 똑같다.

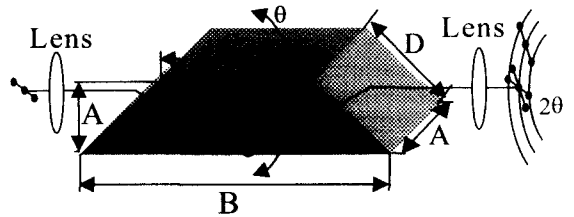


Fig. 2 Dove prism configuration.

다중빔 광학 시스템에서는 도브 프리즘을 사용해야 된다. 도브 프리즘의 특성은 다중 광선을 도브에 주사한 후 도브 프리즘을 회전시키므로써 입사된 일렬의 다중빔을 회전시킬 수 있다. 개략적인 빔의 회전 원리를 Fig.2에 자세하게 나타내었다. 도브 프리즘의 크기는 빔이 통과하는 부분의 광 단면 지름에 의해 결정된다. 광학적 모의 실험을 통하여 구성하였다. 도브 프리즘<sup>(5)</sup>은 반드시 평형광에서 사용해야 함으로 집속렌즈(collimating lens)를 부착시켜 레이저 빔을 평행하게 만들어 주었다. 집속 렌즈는 두께가 3.5 mm이고, 굴절률은 1.825이다. 집속 렌즈를 지난 빔은 도브 프리즘을 통하여 대물렌즈를 거쳐 디스크면에 집광 된다. 대물렌즈의 개구수(NA: Numerical aperture)는 0.45이며, 빔의 크기를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 굴절률은 1.55이며 무게는 약 0.12g이다. 대물렌즈는 디스크상의 트랙 위에 초점을 모으는 역할을 한다. 따라서 대물렌즈에 초점을 유지시켜 주는 초점 구동기가 부착하게 된다. 위와 같이 전체적인 다중빔 시스템의 송광부 광학계가 이루어진다.

다음으로 수광부를 살펴보면 다음과 같다. 디스크면에서 반사된 광은 다시 대물렌즈와 도브 프리즘을 통과한다. 그리고, 반사된 광원 광 분할기(Beam splitter)를 통과하여 일부의 광이 광 검출 센서부로 향한다. 여기서, 비점수차 렌즈(Astigmatism lens)를 통하여 최종적으로 광 검출 센서인 수광 소자(photo diode)에서 모든 광학적 신

호를 전기적인 신호로 바꾸어 준다. 수광 소자(Photo diode, PD)는 6 분할 소자로 디스크 면에 반사되어 나온 정보를 전기적 신호로 읽어 들이는 부분이다. 기존에 많이 사용한 방식 중 케적 추종 신호 검출 방식에서 푸시 풀 방식의 많은 장점에도 불구하고 구조의 복잡성과 옵셋 조절 문제 및 피트의 깊이의 영향을 받는다는 문제점이 있다. 그리고 3-빔 법은 다중재생 빔의 특성을 반감시키는 효과와 다중 재생빔에 사용시 정교한 추가적인 수광 소자의 제작이 요한다. 따라서, 케적 추종 신호 검출은 별도의 수광 소자 센서를 만들지 않는 한 3 개의 재생신호 함께 케적 추종 검출 신호를 얻을 수 있는 위상 차동 검출 법을 사용하였다. 그리고, 본 논문에서는 초점 신호 검출 법은 나이프 에지 방식의 광량 손실의 효과를 최소화 하기 위해 비점 수차법을 사용한다. 따라서, 하나의 빔으로 초점 및 케적 추종 오차 신호를 검출할 수 있는 방법을 사용함으로써 비교적 간단한 시스템을 구성할 수 있었다.

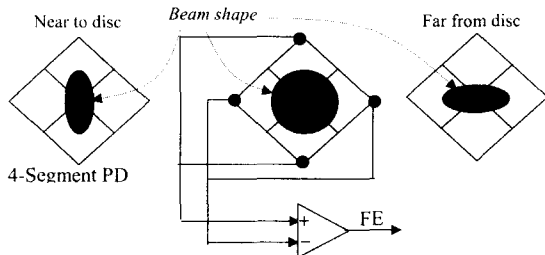


Fig. 3 Astigmatism for focus error.

### 2.2 초점 신호 검출

초점 구동기가 대물렌즈를 항상 디스크와 일정하게 유지시키기 위해 거리 신호를 검출해야 한다. 이 신호가 초점 오차 신호이며, 검출 원리는 비점수차 법을 적용하였다<sup>(6)</sup>. 이 방법은 4 분할 PD 에서 신호를 얻는다. 비점수차 법에 대한 설명을 Fig. 3 에 나타내었다.

$$FE = (V_A + V_C) - (V_B + V_D) \quad (1)$$

여기서,  $V_A, V_B, V_C$  과  $V_D$  는 광 검출 센서인 PD 면상의 4 분할면에서 나오는 전압들이다. 비점 수차 법은 초점의 위치가 거리에 따라서 빔이 다른 형상을 가지는 특성을 이용하는 것이다. 즉 디스크면에 가까워지면 아래 그림에서 세로형태의

빔 형상이 생긴다. 그리고 초점의 위치가 정확히 맞으면 원형의 빔 형상을 가지는 특성을 이용한다. 식 (1)에서 PD 에서 감지 할 수 있는 영역 내에서 선형적인 구간이 존재한다. 여기서 얻어지는 값은 S-curve 의 형상을 가지며, 선형적인 신호 구간에서 초점 오차 제어를 수행한다.

### 2.3 트래킹 신호 검출

재생 빔이 디스크상에 데이터가 기록된 트랙을 허용오차 범위 내에서 추종하기 위해서는 트랙 구동기를 사용한다. 트랙 구동기에서 트랙에 대한 재생 빔의 위치를 검출해야 한다. 기존의 트래킹 신호 검출 방식으로는 2분할 PD 를 사용한 푸시 풀(PUSH-PULL) 방식이나 6 분할 PD 를 이용한 3 beam 방식이 있다. 이 둘 방식을 분석하여 다중빔에 적합한 트래킹 오차 신호 검출법을 제안하였다. 가운데 빔은 트래킹 신호도 얻고, 신호 재생을 위한 RF 신호를 얻는데 사용된다<sup>(7)</sup>. 따라서 본 연구에서는 가운데 하나의 빔으로 트래킹 및 포커싱 신호를 얻어야 함으로 DPTM(Differential phase tracking method)을 택하기로 했다. 따라서 전체적인 수광 소자는 6 분할 PD 를 사용하기로 하였다.

DPTM 방식의 트랙 오차 검출법은 포커스의 경우와 달리 디스크의 피트열의 고주파신호에 대한 위상을 차동 증폭 함으로써 신호를 얻는다. 즉 4 분할 PD 의 대각선의 합인 A+C, B+D 의 파형이 트랙을 횡단하면서 서로의 위상이 변하는 것을 이용하는 방식이다. 이 방식에 의하면 한 트랙을 횡단하는 (A+C),(B+C)는  $-\pi$  에서  $+\pi$  의 위상차를 가지게 되는데 이를 이용하여 트랙 벗어남 움직임을 알 수 있다. 즉 아래와 같은 수식으로 트래킹 오차신호를 구할 수 있다.

$$TE = \int D(V_A + V_C) - \int D(V_B + V_D) \quad (2)$$

자세한 설명은 Fig. 4 에 자세히 나타내었다.

Figure 5 는 데이터 재생을 위한 RF 신호를 얻기 위해서 세 개의 빔 스팟이 가져야 하는 위치를 나타낸 것이다<sup>(8)</sup>. 세 개의 신호에서 각각의 RF 신호는 아래와 같은 수식을 통하여 간단히 얻을 수 있다.

$$RF1 = V_E \quad (3)$$

$$RF2 = V_A + V_C + V_B + V_D \quad (4)$$

$$RF3 = V_F \quad (5)$$

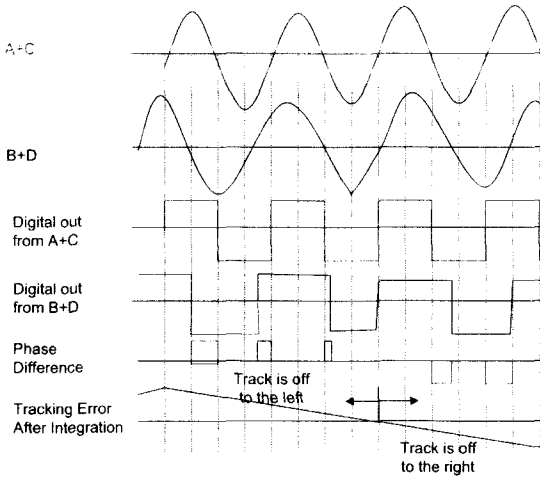


Fig. 4 Differential phase tracking method.

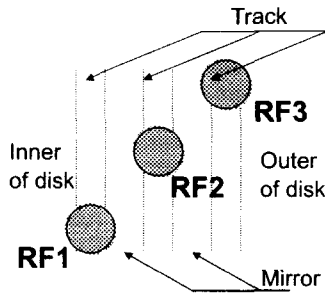


Fig. 5 Multibeam positioning on tracks of disk.

## 2.4 실험 장치

다중 광학계 시스템 전체적인 실험 세트를 Fig. 6에 나타내었다. 여기서 레이저 다이오드는 디스크 피트 열과 45°의 각을 가지고 부착되어 있다. 이유는 디포커스(defocus)의 영향을 최소로 하기 위해서이다. 여기서 부품간의 거리가 가장 큰 것은 집속렌즈와 대물렌즈 사이의 거리이다. 이 길이는 60 mm이다. 이유는 도브 프리즘이 광 패스 중간에 들어가야 하기 때문이며, 도브 프리즘의 재료는 BK7을 사용했다. 대물렌즈의 작동거리는 1.9mm로 디스크면과의 거리이기도 한다. 또한 집속렌즈와 BS와의 거리는 11.93mm이다. Figure 6에서 레이저 다이오드, 광 분리기, 수광 소자, 비점수차 렌즈 등이 아래 부분에 있다. 그리고 도브 프리즘이 도브 홀더 부착되어 광 패스 중간에 있

다. 또한 디스크면에는 대물렌즈를 구동할 수 있도록 렌즈 구동기가 있다.

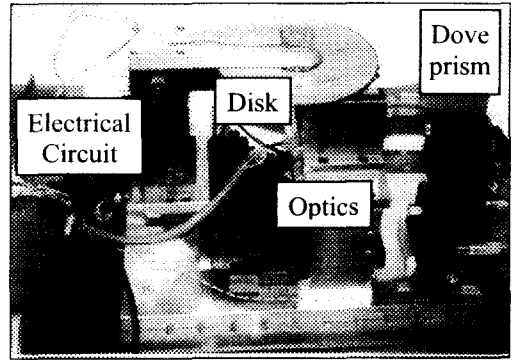


Fig. 6 Configuration of experimental setup.

## 3. 구동부

일반적인 광 디스크 픽업 구동부는 크게 회전 구동 장치(spindle motor)와 렌즈 구동기(lens actuator)로 크게 구분한다. 그러나 다중빔 광 디스크 시스템에서는 빔 회전구동기가 별도로 필요하게 된다<sup>(8)</sup>. 본 연구에서 사용한 렌즈 구동기는 판 스프링 형태의 일반적으로 많이 사용되는 구동기를 사용하였다. 그리고 빔 회전 구동기는 기존의 방식과 다른 형태의 구동기를 제안하고 제작하였다.

### 3.1 초점 구동기

대물 렌즈를 초점심도 내로 유지시키기 위해 초점 구동계가 필요하다. 초점심도를 항상 디스크의 기록면에 대해서 ±1.0 ~ 1.2μm 이내로 모아지도록 해야 한다. Figure 7에서 알 수 있듯이 관심 있는 주파수 영역에서는 2차 시스템의 주파수 응답으로 보인다.

$$\frac{X(s)}{V(s)} = \frac{14}{s^2 + 16s + 1.68e4} \quad (6)$$

여기서, X(s)와 V(s) 렌즈 변위 [m], 구동기에 직접인가 되는 전압[V]이다. DC 감도는 1.2 mm/V 정도이다. 25Hz 부근에서 1차 공진이 발생하고 이때의 -55dB 정도이다. 10kHz 이상에서 기구적인 특성상 부 공진이 일어나고 있다.

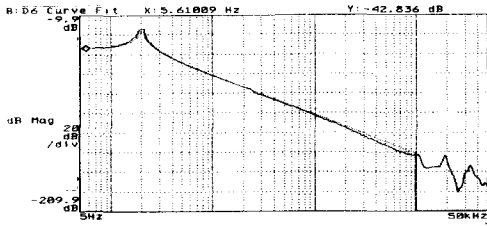


Fig. 7 Frequency response of focusing actuator.

### 3.2 트래킹 구동기

광 픽업에서 나오는 빔을 목표 트랙으로 이동해 유지하기 위해 트래킹 구동기가 필요하다. 그 결과 Fig. 8 에 나타내었다. 이를 바탕으로 2 차로 모델링 하였다.

$$\frac{X(s)}{V(s)} = \frac{16.1}{s^2 + 15s + 1.3e4} \quad (7)$$

여기서, X(s) 와 V(s) 는 렌즈 변위 [m]와 구동기에 직접 인가되는 전압 [V]이다. 저역 주파수 특성에서 -50 dB 정도이다. DC 감도는 2.3 mm/V 정도이다.

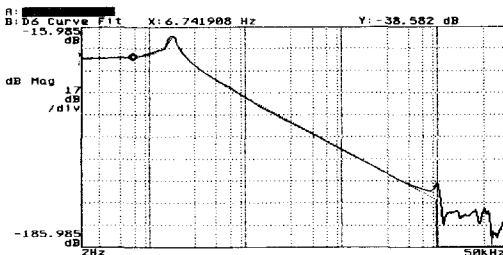


Fig. 8 Frequency response of tracking actuator.

### 3.3 빔 회전 구동기

재생 빔으로 다중 광선을 사용할 경우 다중광선이 디스크상에 서로 회전하듯이 어긋나는 현상이 발생하게 된다. 즉 디스크가 회전하면서 편심에 의해 다중광선을 중앙의 광선에 대해 회전하는 현상이 발생하게 된다. 또한 광 디스크의 내주와 외주의 곡률 차이에 의한 다중광선의 어긋남이 발생한다. 따라서 다중 광선을 별도의 장치 없이 동시에 트랙 위의 모으는 것이 불가능하다. 다중 광선을 동시에 트랙 위에 모으도록 도와 주는 새로운 역할 하는 광선 회전기가 필요하다.

본 논문에서는 광디스크 시스템의 회전 구동을 압전 소자를 이용한 광선 회전기를 제안하고자 한다. 압전 소자는 고 분해능과 고 응답성으로 인하여 미소위치 결정 시스템에 많이 사용된다<sup>(9)</sup>. 본 논문에서는 빔 회전을 위한 광학 부품으로 도브(dove) 프리즘을 이용하고, 이 프리즘을 회전시킬 수 있는 다중 광선 회전기를 제작하였다.

광선이 디스크 상의 트랙을 추종함으로써 광 디스크에서 데이터를 재생할 수 있다.광선이 트랙 추종을 위해서 일반적으로 트랙 구동기를 사용하였다. 보통, 트랙 벗어남은 디스크 트랙 편심에 의해 발생한다. 그러나, 다중 광선의 경우, 가운데 빔외의 주변 빔도 추가적으로 트랙을 추종하도록 해야 한다. 주변 빔의 경우 반경 방향으로 트랙편심을 보상하더라도 빔선 방향의 트랙 편심에 의해 주기적 트랙 벗어남이 발생한다. 이를 보상하기 위해 다중 광선 회전기를 필요로 한다. 실험적으로 구한 공진 주파수는 54Hz 부근에서 관찰되고 있다. 측정 결과는 Fig. 9 에 나타내었다.

곡선 맞춤 (Curve fitting)과 단위 변환과정의 이득을 고려하여 레이저 센서에 의한 구한 전달함수는 아래와 같다.

$$\frac{\theta_L}{V_i} = \frac{1.3E3}{s^2 + 1.1s + 1.18E5}, \quad (8)$$

여기서,  $\theta_L$  와  $V_i$  는 각각 레이저센서에 의해 계산된 회전각<sup>o</sup>, 구동입력 전압[V]이다.

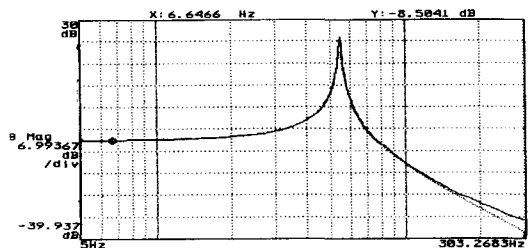


Fig. 9 Frequency response of beam rotating actuator.

## 4. 실험

Figure 6 에서의 다중빔 시스템에는 다중빔용 광학계, 구동계가 탑재되어 있다.픽업광학계의 신호는 다음과 같다. 6 분할 PD 에서 6 개의신호가 나온다. 우선 I/V amp 통하여 이들 신호들을 증폭시

킨다. 안정적으로 신호를 얻은 후 각종 신호에 맞게 적절히 조절하는 것이 필요하다. 우선 RF 신호를 얻기 위해서 6 분할 PD 에서 E,(A+B+C+D),F 에서 각각의 신호를 얻어야 한다. 이들 신호들을 적절히 증폭하고 노이즈 성분들을 제거한다. 이 또한 (A+B+C+D) PD 에서는 트래킹 신호와 함께 포커싱을 위한 신호 성분들을 얻어야 한다. 따라서 각종 신호들은 앞에서 언급한 방식으로 신호를 얻어 낸다.

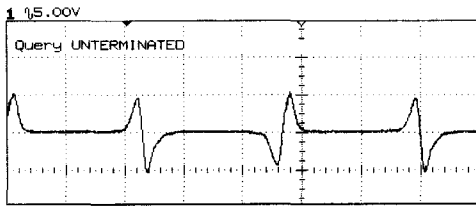


Fig. 10 S-Curve for focus servo.



Fig. 11 Three RF signal.

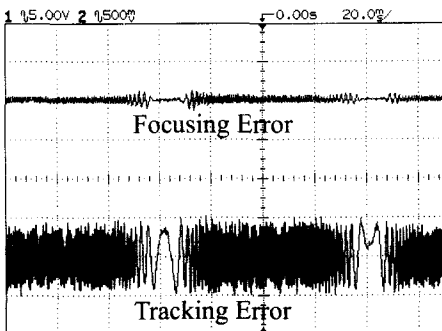


Fig. 12 Error signal for servo system.

포커스 에러 신호인 S-Curve 를 Fig. 10 에 나타내었다. 또한 트래킹 에러 신호 검출을 위해서도

마찬가지다. 또한 각종 RF 신호 레벨이 너무 작으면 안된다. 따라서 RF 신호에 대해서도 신경을 써야 한다. 스피들 구동기를 구동한다. 그리고 트래킹 제어는 이에 맞추어 회로에서 구동 될 수 있도록 해준다. 여기서 제어기는 앞에서 언급한 것을 기초로 하여 제작한다. 여기서는 계인의 조절을 더 중요시 여긴다. 특별한 외란이 존재하지 않는 것으로 본다. 여기서 FE, TE 신호의 정도를 제어 가능한 영역인지 반드시 검사해야 한다. 본 실험에서 서보를 실행한 상태에서의 3 개의 RF 신호를 Fig. 11 에 나타내었다.

또한 구동기 시스템이 적절하게 작동함을 알 수 있다. 이에 따라 구동기의 제어 신호를 검출하고 이를 바탕으로 제어 시스템을 구축하는 것이 필요하겠다. 우선, 포커스 에러 신호와 트래킹 오차 신호를 Fig. 12 에 나타내었다. 회전 구동기는 간단한 PD 제어 기술을 이용하여 제어 특성 성능을 Fig. 13 에 나타내었다.

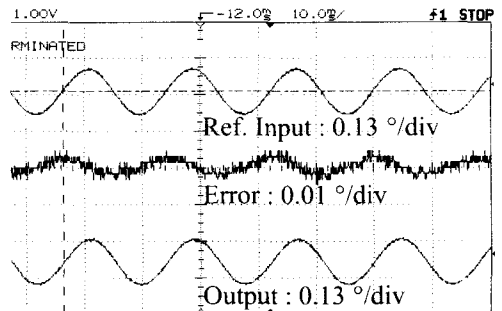


Fig. 13 Servo Response where reference input is disk eccentricity.

## 5. 결론

본 연구에서는 광 디스크 시스템의 데이터 전송률을 높이기 위해서 다중빔 시스템을 구성하고 제안하였다. 본 연구에서는 기존의 다중빔 시스템과 다르게 비교적 간단한 형태의 광학 시스템을 제안하고, 설계 및 제작하여 성능을 평가하였다. 본 연구에서의 다중빔 광학 시스템에서는 하나의 빔으로 초점 및 트래킹 오차 신호를 검출 할 수 있도록 하였다. 다중빔 시스템에 사용 가능한 구동 시스템을 개발하였다. 즉, 기존의 시스템 및 다중빔 시스템에도 적용 가능한 범용 구동 시스템

을 개발하였다. 각종 센서 신호를 새로운 신호 검출방식의 도입으로 비교적 간단한 센서 시스템 구축하였다.

향후, 본 시스템의 특성을 정확히 파악하기 위해 전체적인 제어 시스템을 구축하고 이를 바탕으로 다중빔 시스템의 평가하고자 한다. 즉 데이터를 재생할 수 있을 정도의 깨끗한 RF 신호를 얻어야 한다.

### 참고문헌

1. Alan B. Marchant, "Optical recording(a technical overview)," Addison-Welsley Publishing Company, Massachusetts. 1990.
2. K. Koumura, F. Takizawa, T. Iwanaga, and H. Inada, "High Speed Accessing using Split Optical Head," Optical Data Storage Topical Meeting, Proc. SPIE, Vol. 1078, pp. 239~243, 1989.
3. 新居 亨一, 水上, "8 ビーム LD 어레이による光ディスクドライブの高轉送速度化," Optronics, Vol. 5, pp132~136, 1994.
4. G. Bouwhuis, J. Brat, A. Huijser, J. Pasman, G van Rosmalen and K. Schouhmamer Immink, "Principles of Optical Disc Systems," Adam Hilger Ltd Boston, 1986.
5. Michael Bass, Eric W. Wan Stryland, David R. Williams, and William L. Wolfe, "Handbook of Optics," McGraw Hill Inc. New York, 1995.
6. 村山登, 小出博, 山田和作, 國兼眞, 共著, "光ディスク技術, ラジオ技術選書," pp123~172, 1988.
7. Ryuichi Katayama, Kazuhiro Yoshihara and Yutaka Yamanaka, "Multi-beam Margeto-Optical Disk Drive for Parallel Read/write Operation," Optical Data Storage Topical Meeting, Proc. SPIE, Vol. 1078, pp98~104, 1989.
8. Y. Fuda, M. Murata and Y. Matsuo, "Multilayer piezoelectric ceramic bimorph actuator," Jpn J. appl. Physics, Vol. 24 Suppl 24-2, pp485~487, 1985.
9. T. Ogawa, A. Ando and K. Wakino, "Electrostrictive properties of Monolithic Bimorphous Actuator," Ferroelectrics, Vol. 68, pp249~256, 1986.